

氏名：乙守 正樹

専攻・学年：機械理工学専攻 博士課程 2年

派遣国：デンマーク

派遣先(研究機関名)：デンマーク工科大学機械工学科

受入研究者(職・氏名)：Professor Ole Sigmund

派遣期間：2011年3月20日～2011年5月22日(64日間)

派遣先での研究テーマ：

メタマテリアル材料を対象としたトポロジー最適化による最適設計手法の構築
(Topology optimization for electromagnetic metamaterials)

【研究実施概要】

派遣期間の9週間の内、デンマーク工科大学のSigmund教授研究グループに約9週間(3/21-5/18)滞在し、最後の2日間(5/19-20)でオランダのデルフト工科大学にて、国際研究集会に参加した。

デンマーク工科大学 Sigmund 教授研究グループ

デンマーク工科大学では主な研究テーマとして、誘電体メタマテリアル構造の最適設計手法の構築に取り組んだ。メタマテリアルとは自然界の媒質が通常持たないような性質を示すように設計された人工媒質のことで、負の屈折率を持つ媒質が典型的なメタマテリアルとされ、クローキング装置等さまざまな装置への応用が期待されている。Sigmund教授の研究グループは、トポロジー最適化の分野において世界的に最先端の研究グループで、メタマテリアルの構造設計手法の構築に実績も持つものの、グレースケールと呼ばれる不明瞭な形状表現を含む最適構造が問題となっている。そのため現在京都大学で取り組んでいる、明確な形状表現が可能な手法であるレベルセット法に基づくトポロジー最適化を用いて、誘電体メタマテリアル最適化手法の構築に取り組んだ。その取り組みにおいて、Sigmund教授および研究グループのメンバーの助言を頂きながら、誘電体メタマテリアルの最適設計手法の構築に必要なメタマテリアルの有効透磁率の抽出方法の習得、随伴変数法を用いた感度解析およびレベルセット法に基づくトポロジー最適化手法のアルゴリズムの構築を行った。

また、Sigmund教授にお願いし、派遣先の研究グループで定期的に行われているミーティングに参加させて頂き、レベルセット法に基づくトポロジー最適化手法の研究発表を行った。派遣先の研究グループではレベルセット法を用いた研究に取り組んでいなかったため、非常に興味を持って聴いてもらえ、また約30名の機械系、数学系の研究者に参加して頂き活発な質問・討議ができ大変有益であった。



国際研究集会参加

派遣期間の最後の2日間でオランダのデルフト工科大学にてコンプライアントメカニズムの国際研究集会である2nd International Symposium on Compliant Mechanismsに参加し、口頭発表ならびにポスター発表を行った。世界12カ国から約50名が参加し、ポスター発表でも活発な質疑ができ大変勉強になった。

【研究成果概要】

計画通り、まず初めにメタマテリアルの電磁気特性を評価するために必要なマクロ構造の性能を算出する手法を習得した。メタマテリアルの設計によく用いられている S 行列の係数に基づいて有効透磁率、有効誘電率を計算する方法は、もともと実験的にマクロ構造の性能を評価するための方法であり、最適化問題のようないわゆる逆問題の場合ではそのまま用いることが不適切であり、当初その方法を実装したもののメタマテリアルが等方性を示すような対称構造を得ることができずに悩んでいたが、派遣先の研究者との議論を通じて、対称構造が得られるように拡張した定式化を用いることで解決できた。随伴変数法を用いた感度解析の定式化では、アドバイスを頂きながら随伴変数場の導出を行った。また、市販ソフト COMSOL Multiphysics の General Form を用いた感度解析の実装法も習得することができ、実装法の幅が広がった。今後、他の最適化問題にも活用することができるため非常に有益であった。最適化アルゴリズムの構築では、設計変数における誘電率の表現の定式化を従来の方法より工夫し、各領域の誘電率の逆数で定式化することで最適化計算が安定した。この方法は感度解析の定式化から発想を得たが、派遣先で 2 相複合材料の Mixture Rule について勉強したことから、この逆数表現が、2 相複合状態での特性値の上限值もしくは下限値を与えるという物理的な意味もわかり発想の根拠を得ることができたので、意外なところで役に立ち面白く感じた。期間の制約もあり、当初予定していた導体を扱わず、誘電体のみを用いるメタマテリアル構造の最適設計手法を構築した。今後、導体を考慮したメタマテリアルの最適設計手法の構築を取り組んでいくためにも、今回の派遣先での経験は非常に有益なものであった。

また、今回の派遣に関連して、国際学術雑誌 1 報、国際学会発表 2 件、国内学術雑誌 1 報（予定）、国内学会発表 1 件（予定）の成果が得られ大変有意義であった。



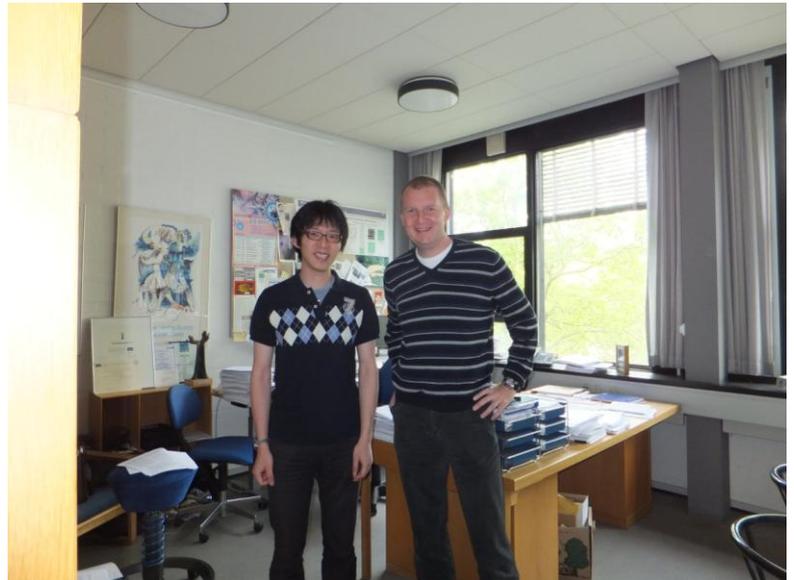
【外国語のスキルアップ・コミュニケーション能力の向上、海外におけるネットワークづくり】

今回の派遣で英語のスキルに関して一番得られたものは、技術的な課題などについてある程度英語で議論できるようになったことである。派遣先の研究室には、ポスドクが 9 名、博士課程の学生が 6 名と多くの研究者がおり、様々な分野においてトポロジー最適化に取り組んでいる研究者と話げできたので、英語力向上のためにも非常に恵まれた環境であった。派遣当初は、周りとの技術的な話題において、内容は理解できるものの、その会話に入ろうと思うと上手く話が続かなかった。デンマーク人は自分の意見が例え間違っていたとしても強く主張するので、こちらの主張を英語で上手く伝えられずにかみ合わないことが多かった。しかしながら相手が強く主張していたことでも、自分の意見を論理立てて説明すると、こちらの意見が受け入れられたことがあり、論理立ててしっかり主張すれば議論になると実感して以来、英語での議論も積極的にできるようになった。

のではないかと思います。デンマーク人曰く、デンマーク人は議論内容よりも議論することが好きなようだが、私もそのような英語での議論を経験できたことは、今後国際学会に参加した際にも活かせるので非常に良い勉強になったと思う。また、今回の派遣でデンマーク工科大学の研究者と良好な人間関係を築けた。帰国後、静岡にて行われた国際学会に参加した際でも派遣先で知り合った研究者と色々と話ができ、とても有意義であった。引き続き関連テーマについて共同研究を続けていく予定であり、今回築いたネットワークを、今後の研究活動に繋げていきたいと考える。

【派遣の感想】

今回の派遣では、海外の研究者とのつながりや国際的な視野を養うこと、また英語でのコミュニケーション能力の向上の面でも非常に有意義であり、このような貴重な機会を与えて頂いたことに大変感謝しております。異文化の理解という面では、海外の研究機関での文化や研究スタイルの違いも実感でき国際的な視野が広がりました。例えば、デンマーク工科大学では、博士課程の学生でも給料が出るため、学生も研究を仕事として捉えている点が日本と異なると感じました。「Laboratory」ではなく「Office」、「research」ではなく「work」とい



う言い方を良く聞きましたし、有給休暇制度もあるので日本の研究所みたいな感覚ではないかと思います。また、海外の人々とコミュニケーションを取るためには、日本の文化や日本の政治・情勢についても良く知っておくことが重要だと感じました。初対面ではどこから来たか聞かれますし、今回、東日本大震災の直後だったので、原発の被害状況はどうかなどと必ず聞かれました。日本の情勢や文化について良く知っておくと、そこから話題が膨らみ良好なコミュニケーションが取れると思います。そのような会話を通してデンマークの文化を勉強できましたし、デンマークの文化と比較することで日本の文化についても学ぶことができました。これからは国際研究集会などを通して、海外の研究者とコミュニケーションをとり、国際的な広い視野を養い研究活動に活かしていきたいと考えます。